

光学玻璃的热光常数 W 与温度和波长的关系

潘新唐 齐亚范

(中国科学院光电技术研究所)

提 要

研究了光学玻璃的热光常数与温度和波长的关系。结果表明:热光常数 W 值随温度上升而线性增加,可用方程式 $W_{\lambda t} = W_{\lambda 0} + \theta t$ 表示;随着波长(从短波到长波)增大,热光常数 W 值下降,可用多项式 $W_{\lambda} = A_0 + A_1\lambda^2 + A_2\lambda^{-2} + A_3\lambda^{-4} + \dots$ 表示。利用上述公式可以计算光学玻璃室温至转变温度范围内任意温度及可见光谱区内任意波长处的热光常数 W 值。

一、引 言

在不均匀温度场条件下使用的光学仪器,由于在光学元件中存在横向温度梯度,因此当光束沿着元件光轴方向通过时,会产生波面畸变,称之为热光畸变。假如温度的变化在光学元件中所产生的弹性应力可以忽略,则以最简单的光学系统(平行薄板玻璃)为例,热光畸变 Δ 可以用下式表示:

$$\Delta = dW \Delta t, \quad (1)$$

式中, d 为平行薄板玻璃的厚度; Δt 为平板玻璃中心与边缘间的温度差; W 为光学玻璃的热光常数,可写成:

$$W_{\lambda t} = \beta_{\lambda t} + (n_{\lambda} - 1)\alpha_t, \quad (2)$$

式(2)中, $\beta_{\lambda t}$ 为玻璃的折射率温度系数; α_t 为膨胀系数; n_{λ} 为玻璃的折射率。

由式(2)可知,光学玻璃的热光常数 $W_{\lambda t}$ 是温度 t 和波长 λ 的函数。研究光学玻璃热光性能与温度和波长的关系,对于设计无热畸变光学系统,制造任何温度条件下都能高质量成像的光学仪器,是十分重要的^[1~3]。

本文以 PBA(P_2O_5 -BaO- Al_2O_3)系统光学玻璃为例,研究了热光常数 W 值与温度和波长的关系,给出计算公式。

二、实 验

1. 样品

表1中给出玻璃组成,用铂坩埚在硅碳棒电炉中,以1250~1300°C温度熔制。玻璃熔体浇注到预热的铁模中。移入马福炉中徐冷退火。

2. 热光常数 W 的测量

测量样品磨制成 $\phi 30 \times 3$ mm 的平行平板玻璃(平行度应好于 10^{11}), 平板的两个面要

Table 1 Compositions of PBA-series glasses

Glass No.	Composition (mol%)		
	P ₂ O ₅	BaO	Al ₂ O ₃
1	70	25	5
2	65	30	5
3	60	35	5
4	70	20	10
5	65	25	10
6	60	30	10
7	75	10	15
8	70	15	15

精密抛光成具有很好的光学表面。测量热光常数 W 值精度可达 $\pm 2\%$ 的装置如图 1 所示。

玻璃试样放在控温炉内。平行光束垂直入射于样品表面。当温度改变时, 由于玻璃的折射率变化以及玻璃发生膨胀, 使由样品两表面反射的两束光的程差也随着改变, 因此, 产生的干涉条纹的级序随样品温度的变化而改变。将干涉条纹成像在接收狭缝上。条纹级序变化在狭缝上引起光的强或弱的交替变化, 用一光电探测器接收。信号经放大器放大后输入到记录仪, 由记录仪将干涉条纹的变化记录下来。若温度变化 ΔT , 对应的干涉条纹的改变数为 ΔN , 则可按下式计算热光常数 W 值:

$$W = \frac{\lambda}{2d} \left(\frac{\Delta N}{\Delta T} \right) - \alpha_0 \quad (3)$$

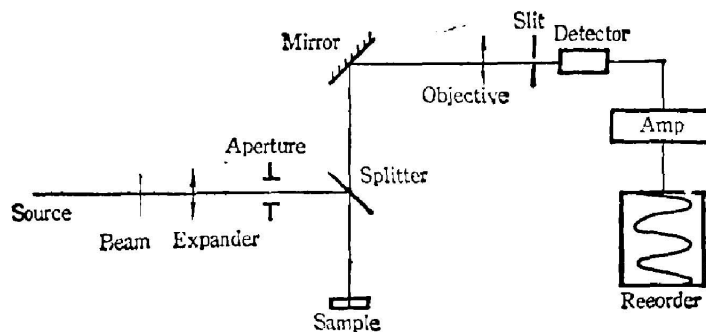


Fig. 1 Schematic diagram for the measurement of thermo-optic coefficient W

三、结果和讨论

1. 温度对光学玻璃热光常数 W 的影响

在室温 $\sim 300^\circ\text{C}$ 的温度范围内, 将样品温度缓慢匀速升高。每隔 30°C 温升进行一次测量, 以各温区的温升平均值计算该区的热光常数 W 值。PBA 系统光学玻璃的热光常数 W 与温度的关系如图 2~4 所示。

可以看出, 热光常数 W 与温度呈线性关系变化。因此可以用如下线性方程表示:

$$W_{\lambda,t} = W_{\lambda,0} + \theta t, \quad (4)$$

式中, $W_{\lambda,t}$ 和 $W_{\lambda,0}$ 分别为 $t^\circ\text{C}$ 和 0°C 时相对于波长 λ 的热光常数; θ 为热光常数的温度系

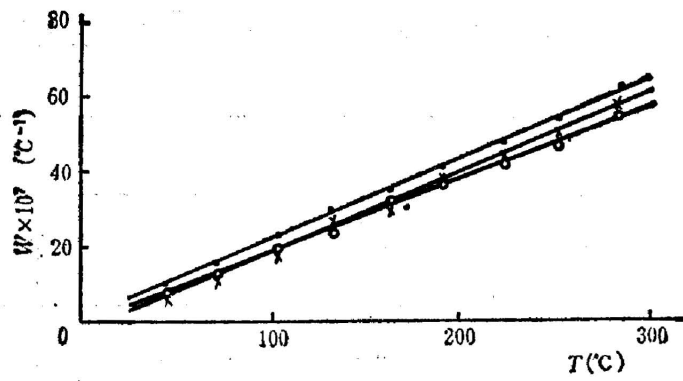


Fig. 2 Relation between thermo-optic coefficients W of $5\text{Al}_2\text{O}_3(95-x)\text{P}_2\text{O}_5$
 $x\text{BaO}$ -series glasses and temperature

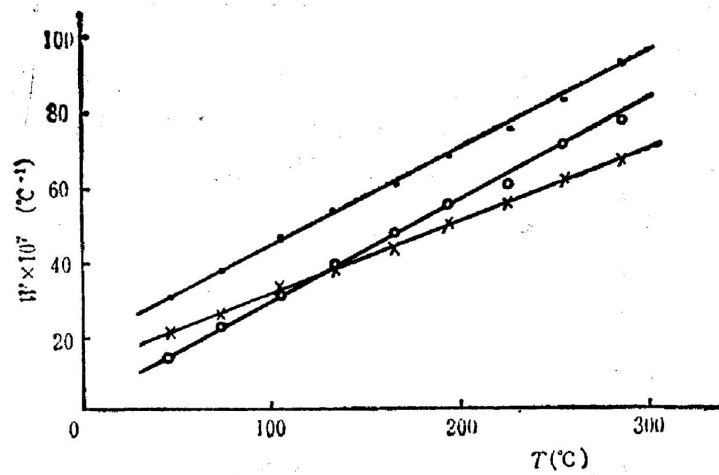


Fig. 3 Relation between thermo-optic coefficients W of $10\text{Al}_2\text{O}_3(90-x)$
 $\text{P}_2\text{O}_5x\text{BaO}$ -series glasses and temperature

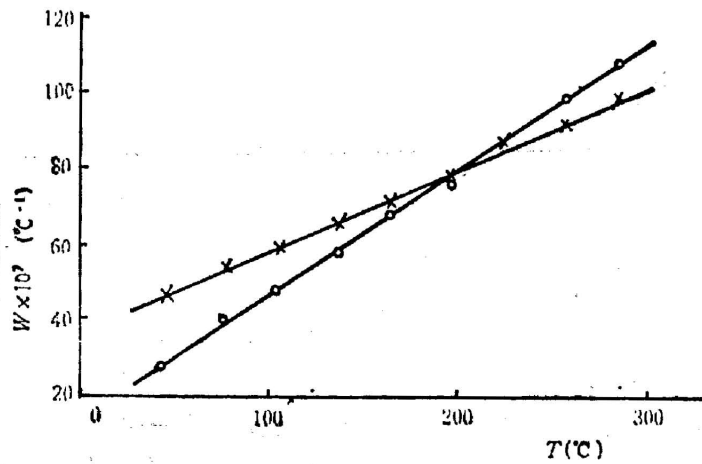


Fig. 4 Relation between thermo-optic coefficients W of $15\text{Al}_2\text{O}_3(85-x)$
 $\text{P}_2\text{O}_5x\text{BaO}$ -series glasses and temperature

数, θ 值的大小与玻璃的组成有关。PBA 系统玻璃的 W_{λ_0} 和 θ 值如表 2。

Table 2 W_{λ_0} and θ of PBA-series glasses

Glass No.	$W_{\lambda_0} \times 10^7$ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	$\theta \times 10^7$ ($^{\circ}\text{C}^{-2}$)	$\bar{\theta} \times 10^7$ ($^{\circ}\text{C}^{-2}$)	$\Delta\theta \times 10^7$ ($^{\circ}\text{C}^{-2}$)
1	-2.8	0.22	0.22	± 0.01
2	-4.5	0.21		
3	-5.7	0.22		
4	22.9	0.22	0.22	± 0.03
5	8.7	0.24		
6	12.4	0.19		
7	11.3	0.34	0.29	± 0.05
8	34.7	0.24		

2. 热光常数 W 与波长的关系

光学玻璃的热光常数 W 值随波长而变。测量了 PBA 系统玻璃在室温 $\sim 120^{\circ}\text{C}$ 温度范围内 F' 线(479.99 nm)、 D 线(589.29 nm)、 C' 线(643.85 nm)和 He-Ne 激光线(632.8 nm)诸光谱线波长时的热光常数 W 值, 结果如图 5 所示。

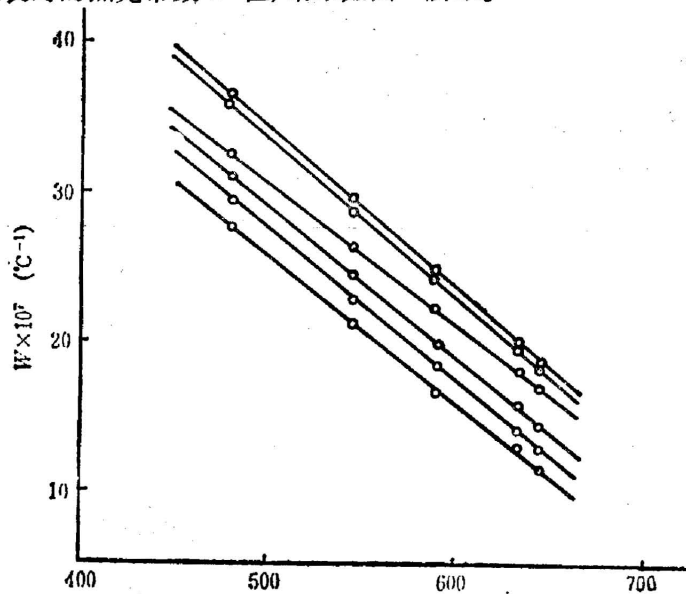


Fig. 5 Relation between thermo-optic coefficients W of PBA-series glasses and wavelength

由图 5 可知, 随着波长由短波到长波, 光学玻璃的热光常数 W 值下降。热光常数 W 值随波长的变化符合如下规律:

$$W_{\lambda}^2 = A_0 + A_1\lambda^2 + A_2\lambda^{-2} + A_3\lambda^{-4} + \dots, \quad (5)$$

式(5)中 $A_0, A_1, A_2, A_3, \dots$ 是与波长无关的常数。如果通过测量求出了某种玻璃的常数 $A_0, A_1, A_2, A_3, \dots$ 的值, 就可以利用式(5)计算该玻璃在可见光谱区内任意波长时的热光常数 W_{λ} 。表 3 是 PBA 系统玻璃 e 线(546.1 nm)热光常数 W 的计算值与测量值的比较。由表中数据可见, 在测量精度范围内, 计算值和测量值一致。

Table 3 Comparison of calculated values of the thermo-optic coefficient W with measured values for PBA-series glasses ($=0.5461\mu\text{m}$)

Glass No.	$A_0 \times 10^{14}$	$A_1 \times 10^{14}$	$A_2 \times 10^{14}$	$A_3 \times 10^{14}$	$W \times 10^7 (^{\circ}\text{C}^{-1})$ (cal.)	$W \times 10^7 (^{\circ}\text{C}^{-1})$ (meas.)
1	-4461.4434	3640.4434	1696.9758	-146.4226	25.8	25.4
2	-6115.8143	4822.3972	2339.9955	-204.6589	29.5	29.5
3	-11759.6239	11211.1027	3899.5532	-366.0566	23.3	22.6
4	12193.6792	-13075.9568	-3772.4742	432.6123	22.6	24.2
5	-12200.2216	10528.2035	4433.5168	-434.2762	30.4	28.3
6	-13999.2417	13137.5479	4779.6717	-462.5624	27.3	26.5

参 考 文 献

- [1] O. C. Шавелев; *ОМП*, 1966, №. 3 (Mar), 31.
 [2] O. C. Шавелев; *ОМП*, 1967, №. 12 (Dec), 35.
 [3] O. C. Шавелев; *ОМП*, 1975, №. 1 (Jan), 30.

Dependence of thermo-optic coefficients of glasses on temperature and wavelength

PAN XINTANG AND QI YAFAN

(Institute of Optics and Electronics, Academia Sinica, Chengdu)

(Received 12 September 1985; revised 27 December 1985)

Abstract

The dependence of thermo-optic coefficients W of glasses on temperature and wavelength has been investigated. The results show that W increases linearly with temperature according to the equation $W_{\lambda t} = W_{\lambda 0} + \theta t$, while it decreases with increasing wavelength according to the equation $W^2 = A_0 + A_1 \lambda^2 + A_2 \lambda^{-2} + A_3 \lambda^{-4} + \dots$. It has been found that thermo-optic coefficients W of glasses at any temperature in the range from room temperature to annealing temperature and at any wavelength in the visible region can be calculated by these equations.